

VR による切羽観察システムの開発

大成建設(株) 技術センター 正会員 ○小島 萌 宮永 隼太郎 坂井 一雄 山上 順民
大成建設(株) 北信越支店 坂本 尚也 鳥谷部 健介 高橋 聡尚

1. はじめに

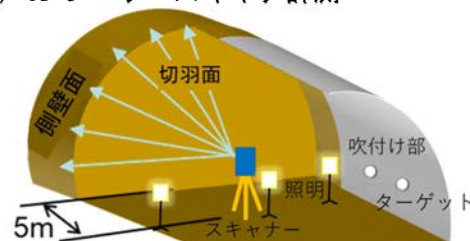
山岳トンネルにおける切羽観察は、支保パターンを選定する根拠の一つとして日々実施される。また、施工時に肌落ち災害を防止する目的や、変状発生時における対策検討のための基礎資料として重要である。一般に、切羽観察は、工事担当者が目視と写真で観察することで評価される。ただし、掘削直後の切羽には、肌落ち災害防止の観点から担当者が近接できない場合が多い。特に、切羽の直下に立ち入り、地山の面構造を直接計測することは難しい。また、観察時に撮影された切羽写真は、側壁面に影ができていたり、平面情報のため面構造の入射方向が不明瞭であるなどの理由から、担当者以外が 3 次元的な地質構造を把握し詳細観察することが難しい場合がある。筆者らは、これらの課題を解決し、さらに、詳細な切羽情報を遠隔地と共有することを実現するために、VR を用いた切羽観察システムを開発している。本論は、本システムを用いたトンネル切羽の観察結果と実装した面構造（走向傾斜）計測機能の精度検証結果を報告するものである。

2. 計測および観察手法

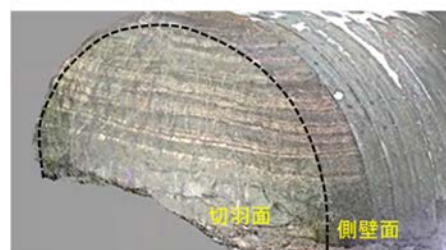
本システムは、掘削直後の地山の情報を正確に取得するために、3D レーザースキャナ(3DLS)を用いている。3DLS は、切羽から 5m 程度離れた安全な位置からでも正確に切羽面や側壁面の 3 次元座標および色情報を点群データとして取得できる(図 1a~b)。取得された点群は、専用ソフトを介して VR 空間にて再現され、仮想の切羽を観察することを可能とする(図 1c)。VR は、現実のような臨場感を持って点群を観察できるほか、不連続面の構造などを近接して計測できる利点がある。なお、3DLS の機種は、高精度の計測が可能な Z+F 社製の Imager 5016 を用いた。本機種は計測の解像度(10m 先で取得される点間隔)を任意に設定でき、今回は 10m 先で 6.3mm の詳細な点間隔が得られる計測モードを用いた。

また、切羽観察では、地山の不連続面の走向傾斜を計測することが重要となる。このため、VR システムにはクリノメータ機能を実装した(図 1d)。本機能は、VR 観察者が仮想のクリノメータを用いて、点群で再現された切羽において任意の面構造を直接計測することを可能とする。筆者らは、本機能の精度検証のため、人工的な垂直面・水平面・緩傾斜面・急傾斜面と天然の切土法面の節理面にて走向傾斜を実測し、VR 内での計測データと比較した。なお、走向傾斜の実測には、地質調査で一般的に用いられるクリノメータを使用した。

(a) 3D レーザースキャナ計測



(b) 点群の取得



(c) VR 観察



(d) VR クリノメータ機能



図 1 VR 切羽観察システムの概要

キーワード 山岳トンネル, 切羽観察, VR, 走向傾斜計測

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設株式会社 技術センター TEL 045-814-7221

3. 計測結果

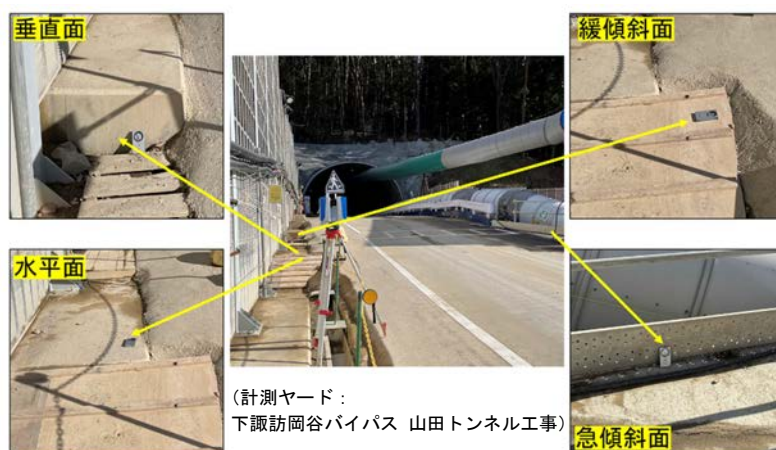
3DLSにて取得した点群をVRで観察したところ、写真や点群ビューワーで点群を観察するよりも臨場感があり、現実のトンネル内で観察している状況が良く再現された。また、VR内では専用のコントローラを使用して空間を自由に移動できるため、側壁面や天端直下に立ち入り、掘削面の直近で岩相や層相を観察することができた(図1c)。なお、計測時、3DLSは切羽から5m坑口側に設置したものの、側壁面には死角がなく、十分に詳細観察に耐えうるということが分かった。

VRシステムに実装したクリノメータ機能の検証のため、通常のクリノメータで走向傾斜を実測した結果を図2に示す。また、図3では実測とVRでの走向傾斜の計測結果をシュミットネットで比較した。人工面および切土法面のVR計測値はほとんどが実測値から誤差 $\pm 5^\circ$ の範囲に入り、両者は概ね整合することが分かった(図3)。ただし、切土法面での⑤や⑧の面(図2b)の計測結果は、誤差 $\pm 5^\circ$ の範囲から外れ、走向で $15\sim 25^\circ$ 程度の明らかな差異があった(図3b 赤丸箇所)。この原因は、これらの面が3DLSから死角になり、VRでの走向計測に十分な密度の点間隔が得られなかったことによる。この誤差の解消には、切羽にて2方向から3DLS計測を実施し、点群の死角を埋める対策が有効と考えられる。

4. まとめ

筆者らは、遠隔地においても切羽観察と走向傾斜の計測が可能なVR切羽観察システムを開発し、従来の写真による方法よりも詳細な切羽観察が実現できることを確認した。今後は本システムを遠隔臨場に適用できるよう、開発を進める予定である。

(a) 人工面



(b) 切土法面

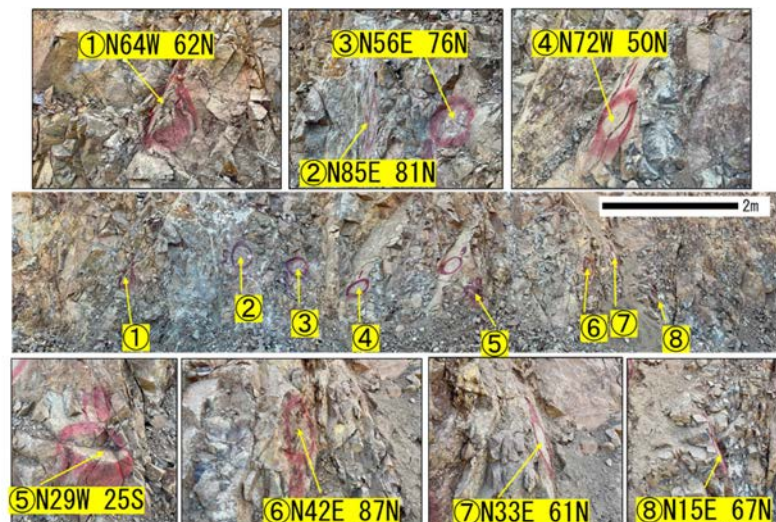
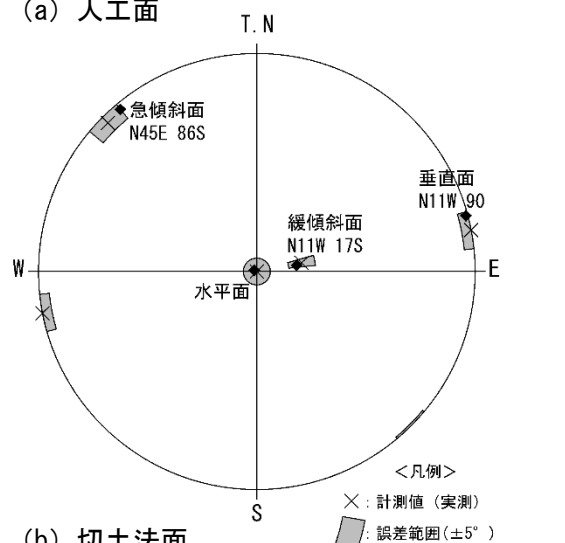


図2 走向傾斜の実測結果

(a) 人工面



(b) 切土法面

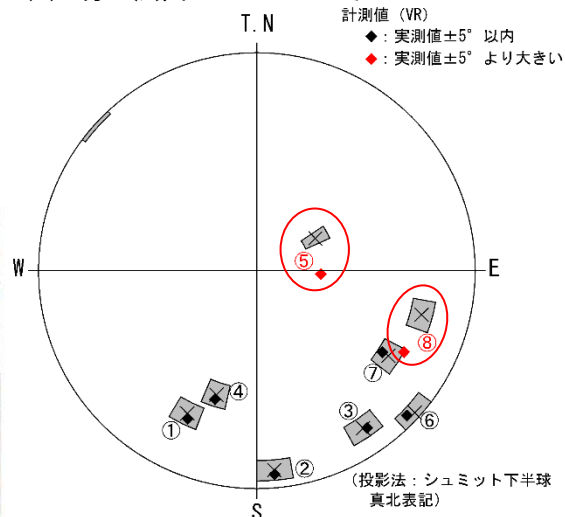


図3 走向傾斜計測結果の対比